

Concrete07 - Chang & Mander's 1994 Concrete Model

Contact Authors: Sri Sritharan: sri[at]iastate[dot]edu
Jonathan Waugh: jonwaugh[at]iastate[dot]edu

Concrete07 是 Chang & Mander's 1994 简化卸载加载的本构模型。另外，与 Chang and Mander 模型本构中不吻合的受拉包络也已经移除不考虑。该本构模型要求 8 个输入参数来定义单向的受约束和无约束的混凝土本构关系。形式如下：

`uniaxialMaterial Concrete07 $matTag $fc $ec $Ec $ft $et $xp $xn $r`

\$matTag	材料编号
\$fc	定义混凝土抗压强度的浮点值 (受压为负)
\$ec	定义最大抗压强度对应的应变的浮点值
\$Ec	砼初始弹性模量
\$ft	定义混凝土受拉强度的浮点值 (受拉为正)
\$et	定义最大受拉强度时对应的应变的浮点值
\$xp	定义受拉中直线段下降段开始的应变点的无量纲值
\$xn	定义受压中直线段下降段开始的应变点的无量纲值
\$r	控制非线性下降段的参数

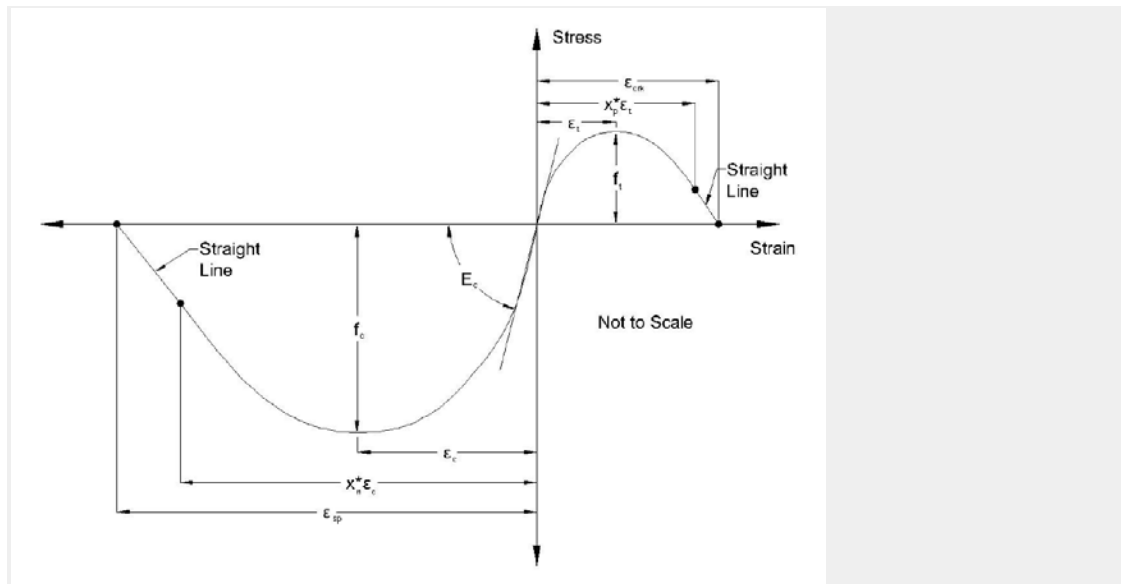


Figure 1: Concrete07 包络及参数的定义

无约束混凝土

对无约束混凝土，上图中的抗压强度的峰值 f_c 为 f'_c0 而相应的应变 e_c 是 e'_c0 。假设可以达到无约束混凝土的抗压强度，则用下列推荐的方法可以找到模型的关键参数，包括：

US Customary Units:
 f'_{c0} = compressive strength (psi)

$$\varepsilon_{c0} = \frac{f'_{c0}{}^{\frac{1}{4}}}{4000}$$

$$E_c = 185,000 * (f'_{c0})^{\frac{3}{8}} \quad (\text{psi})$$

$$f_t = 7.5 * \sqrt{f'_{c0}} \quad (\text{psi})$$

$$\varepsilon_t = \frac{2 * f_t}{E_c}$$

$$x_p = 2$$

$$x_n = 2.3$$

$$r = \frac{f'_{c0}}{750} - 1.9$$

SI Metric Units:
 f_{c0} = cylinder strength (MPa)

$$\varepsilon_{c0} = \frac{f_{c0}{}^{\frac{1}{4}}}{28}$$

$$E_c = 8,200 * (f_{c0})^{\frac{3}{8}} \quad (\text{MPa})$$

$$f_t = 0.62 * \sqrt{f_{c0}} \quad (\text{MPa})$$

$$\varepsilon_t = \frac{2 * f_t}{E_c}$$

$$x_p = 2$$

$$x_n = 2.3$$

$$r = \frac{f_{c0}}{5.2} - 1.9$$

约束混凝土

约束会提高混凝土的强度和延性。这些效应是通过转移受压强度的峰值点和对应的应变点来实现的。既是 f'_{cc} and ε'_{cc} 而 r 的值也进行折减。

用于定义受压约束混凝土的关键参数的计算方法如下：

$$f'_{cc} = f'_{c0} * (1 + k_1 * x')$$

式中：

 f'_{c0} = unconfined peak compressive strength

$$k_1 = A * \left[0.1 + \frac{0.9}{1 + B * x'} \right]$$

$$x' = \frac{f_{t1} + f_{t2}}{2f'_{c0}}$$

$$A = 6.886 - (0.6069 + 17.275q) e^{-4.989q}$$

$$B = \frac{4.5}{\frac{5}{A} [0.9849 - 0.6306 e^{-3.8939q}] - 0.1} - 5$$

$$q = \frac{f_{t1}}{f_{t2}} \quad f_{t2} \geq f_{t1}$$

$$\varepsilon'_{cc} = \varepsilon_{c0} (1 + k_2 * x')$$

$$k_2 = 5k_1 \quad \text{for normal strength transverse reinforcement}$$

$$k_2 = 3k_1 \quad \text{for high strength transverse reinforcement}$$

$x_n = 30$ (value is recommended in order to follow the descending branch to large strains)

$$n = \frac{E_c * \varepsilon_{cc}}{f'_{cc}}$$

$$r = \frac{n}{n - 1}$$

约束混凝土本构关系的受拉边的曲线形状与非约束混凝土受拉边的曲线形状是一致的。

循环加载下的性能

用于约束区混凝土和非约束区混凝土的往复性能的滞回规则已经在模型中设置好，不用用户另行输入参数。这些规则总体上与 **Chang and Mander** 的建议是一致的，而这些规则也是在大量研究者的循环受压试验得到的结果中回归得到的。**Chang and Mander** 针对这些提出了三个简化的规则：

- 1) **Concrete07** 对加载和卸载路径近似采用三折线路径来模拟。这样做的原因是为了提高模型的计算效率和稳定性。
- 2) 原始模型中，在一个循环之后，受拉的包络线随着重新施加压力荷载是会有相应的变动的。这种变动认为是不需要的，在 **Concrete07** 中并没有考虑进去。
- 3) 原始模型中卸载的应变需要添加一个附加应变，以使其符合单向的包络关系。**Concrete07** 模型直接在卸载的应变中使其符合包络关系。这样做的原因是为了提高模型的计算效率和稳定性。?? (The original model requires an additional strain be applied beyond the unloading strain to rejoin the monotonic envelope. The **Concrete07** rejoins the envelope at the unloading strain.)

关于 **Concrete07** 本构的详细描述，对 **Chang and Mander** 本构的修改以及 **Concrete07** 对 **Opensees** 的模拟能力的作用详见 **Waugh(2007)**

Concrete07 和 **Concrete03** 本构的循环加载对比如下所示；其中扩大显示了受拉区域的变化。这次对比的是约束混凝土，以使得两种本构模型的性能的对比更为显著。

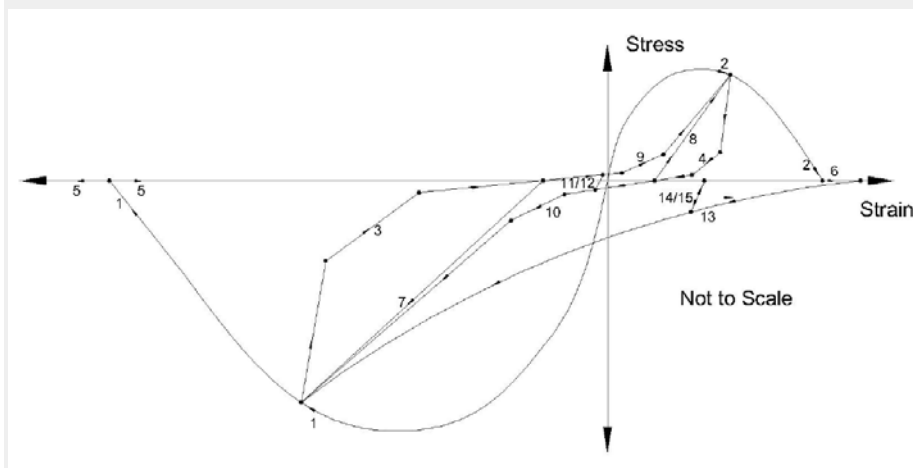
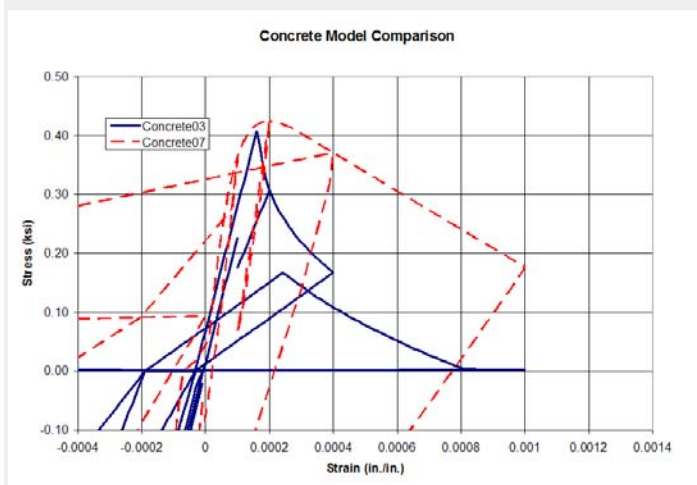
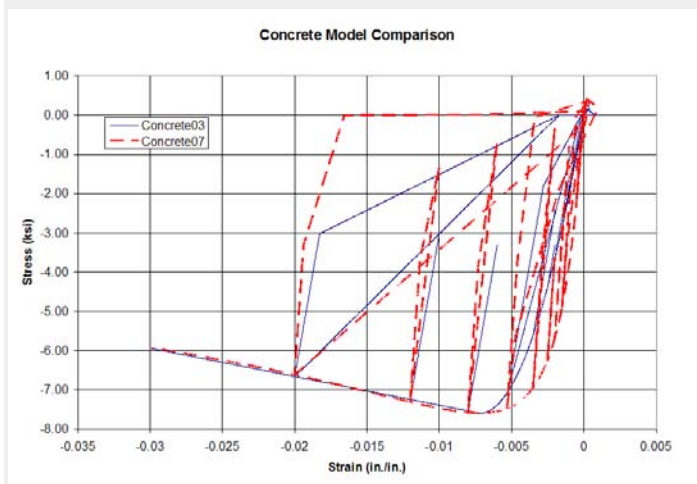


Figure 2: **Concrete07** 的滞回性能

Concrete07 比 **Concrete03** 的残余位移更大。**Concrete07** 同时也有更大的初始刚度以及过了受拉峰值点后更为缓和的下降段。

Chang and Mander 阐明 **Concrete03** 中受拉的突然的承载力损失是由于试验的条件所限并且不能很好的模拟真实的材料性能。



轴向荷载

如果在一个截面中使用了材料本构模型来进行循环加载分析，那么如果没有轴力作用的话可能分析就会有问题出现。由于构件本身的自重，所以截面应该施加一个轴力。如果材料是直接进入受拉而没有任何受压应变，然后再颠倒过来的话，模型会以 -0.00002 应变（材料未开裂）或者 5% 的峰值应变（材料开裂）作为目标值。开裂引起的增量是因为在开裂时，材料会彼此楔入。

所以建议用户在截面上施加等同于自重的轴力荷载或者施加一个小值如果用户想实现最小轴向荷载的话。小于 0.05% of $f'cAg$ 的值就可以满足计算的稳定性。而且在分析中会取代上述的默认的性能来进行分析。